Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań
tel. +48 61 848 77 26
e-mail: kiwis@up.poznan.pl

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I INŻYNIERII MECHANICZNEJ
Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej

prof. UPP dr hab. inż. Agnieszka Pilarska
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
ul. Piątkowska 94A, 60-649 Poznań
Tel. (061) 846-65-93, e-mail: agnieszka.pilarska@up.poznan.pl

Poznań, 12 grudnia 2025 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgra inż. JAKUBA SOI
zatytułowanej
„Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji"

Promotorzy
prof. dr hab. inż. Tomasz Oniszczuk
dr hab. inż. Maciej Combrzyński, prof. uczelni

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego, prof. dr hab. Krzysztofa Jóźwiakowskiego, z dnia 20 października 2025 roku (nr pisma NE.5200.5.2.2025). Podstawę formalno-prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgra inż. Jakuba Soi pt.: „Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji" stanowi Uchwała RD IŚGiE 11/2025 Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego z dnia 10 października 2025, w sprawie powołania recenzentów rozprawy doktorskiej.

2. Tematyka rozprawy doktorskiej

Celem ocenianej rozprawy doktorskiej pt. „Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji" jest opracowanie kompleksowego rozwiązania technologicznego, zgodnego z zasadami 6R i gospodarki o obiegu zamkniętym. Rozwiązanie to ma umożliwiać racjonalne wykorzystanie wytłoków roślinnych jako funkcjonalnych dodatków w produkcji żywności oraz jako potencjalnych substratów do fermentacji beztlenowej i produkcji biogazu. Autor koncentruje się na produktach ubocznych powstających podczas tłoczenia soków owocowo-warzywnych oraz olejów roślinnych (wytłoki jabłkowe, z aronii, dyni, nasion czarnuszki i siemienia lnianego), które – ze względu na wysoką wartość odżywczą i obecność związków bioaktywnych – włączono do mieszanek skrobiowych, głównie na bazie surowców ziemniaczanych, w ilości 10, 20 i 30% masy. Mieszaniny te poddano ekstruzji w jednoślimakowym ekstruderze EXP-45-32 ze zmodyfikowanymi układami plastyfikującymi o stosunku L/D = 16 i L/D = 20, przy prędkościach obrotowych ślimaka 40, 60 i 80 obr/min oraz z zastosowaniem różnych matryc formujących. W trakcie badań oceniano wydajność

procesu, jednostkowe zapotrzebowanie energii mechanicznej, stabilność przebiegu ekstruzji oraz kluczowe właściwości fizykochemiczne otrzymanych pelletów przekąskowych (gęstość nasypową, wskaźnik ekspandowania, wytrzymałość mechaniczną, współczynniki absorpcji i rozpuszczalności wody – WAI, WSI – oraz, w wybranych wariantach, aktywność antyoksydacyjną produktów). Frakcje poprodukcyjne, powstające w trakcie rozruchu i stabilizacji procesu ekstruzji, poddano dodatkowo fermentacji beztlenowej zgodnie z normą DIN 38414-S8, w celu określenia ich potencjału biogazowego (produkcja biogazu i metanu w przeliczeniu na świeżą masę, suchą masę i suchą masę organiczną). Uzyskane wyniki pozwoliły na powiązanie parametrów procesu ekstruzji i składu mieszanek z efektywnością energetyczną, w kontekście potencjalnego wykorzystania tych materiałów w biogazowniach.

Rozprawa wpisuje się w aktualne wyzwania związane z ograniczaniem negatywnego wpływu przemysłu rolno-spożywczego na środowisko oraz z wdrażaniem rozwiązań sprzyjających redukcji odpadów organicznych i emisji gazów cieplarnianych. Autor słusznie podkreśla, że tradycyjne metody postępowania z produktami ubocznymi (kompostowanie, spalanie, składowanie) nie wykorzystują w pełni ich potencjału funkcjonalnego i energetycznego, a jednocześnie generują koszty oraz obciążenia środowiskowe. Zastosowanie techniki ekstruzji jako operacji typu HTST (ang. *high temperature short time*) umożliwia stabilizację mikrobiologiczną, modyfikację struktury i zwiększenie trwałości produktów zawierających wytłoki, przy obniżonym zapotrzebowaniu na wodę technologiczną i energię – w stosunku do tradycyjnych technologii przetwórstwa. W pracy wykazano, że konfiguracja układu plastyfikującego, dobór matrycy, prędkość obrotowa ślimaka oraz rodzaj i udział wytłoków determinują przebieg procesu ekstruzji oraz kształtują właściwości fizykochemiczne pelletów. Ma to istotne znaczenie dla ich jakości konsumenckiej, efektywności energetycznej procesu oraz przydatności frakcji poprodukcyjnych jako stabilnych, przewidywalnych substratów dla fermentacji metanowej. Zakres podjętych badań łączy zatem zagadnienia inżynierii procesowej żywności z inżynierią środowiska i energetyką odnawialną, wpisując się w ideę zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym. **Tym samym uważam, że podjęcie przez Autora tematu związanego z zagospodarowaniem wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji oraz oceną ich potencjału biogazowego jest w pełni uzasadnione.**

3. Ocena formalna rozprawy doktorskiej

Przedłożona do oceny dysertacja doktorska ma formę **spójnego tematycznie cyklu pięciu publikacji (P1–P5)**, włączonych do rozprawy. Układ pracy jest czytelny i typowy dla rozprawy publikacyjnej: zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, rozdziały: wprowadzenie, założenia i cele, materiał i metodykę badawczą, omówienie wyników, wnioski, literaturę pomocniczą oraz oświadczenia współautorów.

Struktura pracy jest logiczna i przejrzysta, a spis treści w sposób konsekwentny porządkuje kluczowe elementy metodyki, w tym ocenę wydajności i energochłonności procesu, analizę właściwości fizykochemicznych otrzymanych produktów, określenie potencjału biogazowego badanych frakcji oraz zastosowane metody statystyczne. Wykaz publikacji został przygotowany poprawnie pod względem informacyjnym – zawiera pełne dane bibliograficzne, numery DOI, a także wskazanie wartości współczynnika IF i punktacji. Rozprawa została sformułowana poprawnym językiem naukowo-technicznym, z widocznymi jednak uchybieniami redakcyjnymi i formalnymi, które nieco obniżają ogólną staranność opracowania. Szczegółowy wykaz błędów redakcyjnych i niespójności zawarto w części dotyczącej oceny merytorycznej.

W recenzowanej pracy doktorskiej postawiono następujący problem naukowy: „zagospodarowanie wybranych produktów ubocznych przetwórstwa rolno-spożywczego jako dodatków wzbogacających decyduje o przebiegu procesu ekstruzji oraz wpływa na kształtowanie wybranych właściwości fizykochemicznych i funkcjonalnych uzyskiwanych

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań
tel. +48 61 848 77 26
e-mail: kiwis@up.poznan.pl

pelletów przekąskowych." **W odpowiedzi na tak zdefiniowany problem badawczy Autor przyjął trzy hipotezy badawcze (H1–H3) w następującej postaci:**

- **(H1)** Zastosowanie procesu ekstruzji umożliwia zagospodarowanie produktów ubocznych w postaci wytłoków owocowo-warzywnych i oleistych do wytworzenia nowej gamy produktów ekstrudowanych (pelletów przekąskowych), ograniczając tym samym konieczność ich utylizacji.
- **(H2)** Ilość i rodzaj dodatku wytłoków roślinnych do mieszanek skrobiowych, konfiguracja układu plastyfikującego ekstrudera, prędkość obrotowa ślimaka oraz zastosowana matryca formująca determinują przebieg procesu ekstruzji i kształtują wybrane właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne ekstrudatów, co pozwala uzyskać wyroby o zdefiniowanych cechach przy minimalizacji zapotrzebowania energetycznego.
- **(H3)** Materiały powstające w procesie ekstruzji zawierają znaczną ilość łatwo-rozkładalnych związków organicznych, co umożliwia ich wykorzystanie jako substratu do fermentacji beztlenowej i produkcji biogazu, przynosząc pozytywny efekt środowiskowy.

Przyjęty tok prac badawczych oceniam jako spójny i właściwie zaplanowany. Autor konsekwentnie dążył do uzyskania pełnych odpowiedzi na sformułowane hipotezy, porządkując cykl publikacji w sposób odpowiadający kolejnym etapom weryfikacji założeń – od oceny technologicznej i jakościowej produktów ekstrudowanych, przez analizę wpływu zmiennych procesowych, aż po ujęcie środowiskowo-energetyczne obejmujące wykorzystanie frakcji poprodukcyjnych w fermentacji beztlenowej. O bardzo dobrym warsztacie badawczym mgra inż. Jakuba Soi świadczy umiejętne, wielowymiarowe zaprojektowanie badań oraz właściwy dobór metod i aparatury – uwzględniający zarówno monitorowanie kluczowych parametrów procesu ekstruzji, jak i rzetelną charakterystykę uzyskanych produktów pod kątem cech fizykochemicznych oraz potencjału antyoksydacyjnego. Na podkreślenie zasługuje również skuteczne wykorzystanie zaplecza badawczego kilku jednostek naukowych, co pozwoliło na kompleksowe ujęcie problemu i wzmocniło interdyscyplinarny charakter rozprawy. **Postępowanie niniejsze stworzyło możliwość poszerzenia zarówno praktycznych, jak i naukowych zasobów informacji w podjętym temacie. Stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca zawiera wszystkie wymagane elementy rozprawy doktorskiej oraz ma charakter naukowo-badawczy.**

4. Charakterystyka zawartości rozprawy i ocena merytoryczna

W rozdziale **„STRESZCZENIE"** mgr inż. Jakub Soja jednoznacznie wskazuje, że rozprawa została przygotowana w formule cyklu publikacji oraz koncentruje się na opracowaniu rozwiązania technologicznego zgodnego z zasadami 6R. W przedstawionej koncepcji wytłoki roślinne (jabłko, aronia, dynia, czarnuszka, siemię lniane) zastosowano jako dodatki funkcjonalne do ekstrudowanych pelletów/przekąsek, przy równoległym uwzględnieniu aspektu środowiskowego, tj. redukcji zużycia wody technologicznej oraz energochłonności procesu, a także ocenie możliwości energetycznego zagospodarowania frakcji poprodukcyjnych w drodze fermentacji beztlenowej. Zwięzła i rzeczowa konstrukcja streszczenia porządkuje zakres materiałowy pracy, kluczowe zmienne procesowe oraz uzasadnia powiązanie etapu ekstruzji z odzyskiem energii w postaci biogazu. Pozostaje to w pełnej zgodzie z osią problemową rozprawy, obejmującą komponent technologiczny, środowiskowy i energetyczny.

W rozdziale 1. **WPROWADZENIE** przedstawiono aktualność problematyki zagospodarowania produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego w perspektywie gospodarki o obiegu zamkniętym. Uzasadniono również wybór ekstruzji jako technologii

umożliwiającej stabilizację surowców o niejednorodnych właściwościach oraz ich efektywne wprowadzanie do matrycy skrobiowej przy równoczesnym kształtowaniu cech jakościowych otrzymywanego produktu. Wprowadzenie ma ponadto wyraźny charakter systemowy – Autor podkreśla, że obok wytwarzania produktów o podwyższonej funkcjonalności konieczne jest uwzględnienie strumieni odpadowych generowanych w procesie (m.in. w fazie rozruchu linii oraz w postaci wyrobów niespełniających wymagań jakościowych) oraz wskazanie możliwości ich dalszego, racjonalnego zagospodarowania, w tym w kierunku odzysku energii. W konsekwencji rozdział ten stanowi spójne tło dla części końcowych rozprawy, obejmujących zagadnienia środowiskowe oraz wykorzystanie frakcji poprodukcyjnych w procesie fermentacji.

W rozdziale **2. ZAŁOŻENIA BADAWCZE I CELE NAUKOWE** w sposób uporządkowany zdefiniowano problem naukowy, przedstawiono hipotezy oraz cele, a co szczególnie istotne w formule „rozprawy publikacyjnej" – powiązano je bezpośrednio z artykułami składającymi się na cykl (P1–P5). Hipotezy obejmują: (H1) możliwość zagospodarowania wytłoków przez ekstruzję, (H2) wpływ rodzaju/ilości dodatku i konfiguracji ekstrudera na przebieg procesu oraz właściwości ekstrudatów przy minimalizacji nakładów energetycznych, oraz (H3) przydatność frakcji poprodukcyjnych do fermentacji beztlenowej. Cele szczegółowe są rozpisane na cztery zadania badawcze, przypisane do konkretnych publikacji, co wzmacnia transparentność i logiczny charakter całej rozprawy.

W rozdziale **3. MATERIAŁ I METODYKA BADAWCZA** Autor przedstawia metodykę w sposób kompletny: opisuje surowce (bazę skrobiową, dodatki funkcjonalne – typy wytłoków – oraz dodatki technologiczne), przygotowanie mieszanek (m.in. ujednorodnienie granulacji i dowilżanie do docelowej wilgotności), a następnie parametry oraz warianty prowadzenia procesu na ekstruderze jednoślimakowym z możliwością zmiany układu plastyfikującego (L/D=16 i L/D=20) oraz prędkości obrotowej ślimaka. Rozdział obejmuje też klarownie wydzielone moduły pomiarowe: wydajność (Q) i energochłonność procesu (SME), zestaw cech fizykochemicznych/funkcjonalnych (np. ekspandowanie, gęstość nasypowa, odporność mechaniczna, WAI/WSI, elementy oceny antyoksydacyjnej) oraz metodykę oceny potencjału biogazowego frakcji poprodukcyjnych w reżimie mezofilowym. **Na uwagę zasługuje również zastosowanie adekwatnych narzędzi statystycznych** (korelacje, ANOVA z testem Tukeya, RSM, PCA) i powiązanie ich z zagadnieniami badawczymi.

W rozdziale **4. OMÓWIENIE WYNIKÓW** zachowano wyraźną, „publikacyjną" narrację, prowadząc czytelnika od badań wstępnych (P1), przez analizę konfiguracji plastyfikowania i warunków procesu oraz ich wpływu na parametry technologiczne i cechy produktu (P2–P4), aż do kluczowego domknięcia środowiskowo-energetycznego w postaci oceny przydatności frakcji poprodukcyjnych do fermentacji beztlenowej (P5). Rozdział jest merytorycznie spójny z częścią założeń – konsekwentnie wykazuje, że wytłoki są jednocześnie nośnikami cech funkcjonalnych (błonnik, polifenole) i czynnikiem procesowym modyfikującym przebieg ekstruzji. Dodatkowo Autor wskazuje mechanizmy technologiczne stojące za obserwowanymi zmianami (np. stabilność przepływu masy, wpływ rodzaju wytłoków i udziału procentowego na wydajność i SME, przesłanki do doboru parametrów w P5 na podstawie P4). **Wartościowym merytorycznie elementem rozdziału jest również** interpretacja wyników fermentacji metanowej w odniesieniu do składu surowcowego frakcji (np. wyraźne wskazanie perspektywiczności frakcji z czarnuszką przy rosnącej zawartości metanu) oraz próba syntezy zależności z wykorzystaniem PCA.

W rozdziale 5. **WNIOSKI** Autor formułuje konkluzje w sposób syntetyczny, a zarazem praktycznie użyteczny z punktu widzenia technologii procesu. Wskazuje możliwość wzbogacenia ekstrudowanych pelletów spożywczych wytłokami do 30% składu recepturowego, potwierdza wpływ rodzaju i ilości wytłoków na parametry procesu oraz właściwości ekstrudatów, a także precyzuje, które konfiguracje układu plastyfikującego i matryc sprzyjają wysokiej wydajności oraz ograniczeniu wartości SME. Ponadto rozdział ten w sposób jednoznaczny domyka hipotezę środowiskowo-energetyczną, potwierdzając

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań
tel. +48 61 848 77 26
e-mail: kiwis@up.poznan.pl

zasadność odzysku energii z frakcji poprodukcyjnych i wskazując warianty szczególnie korzystne zarówno dla stabilności procesu, jak i dla potencjału biogazowego. W efekcie wnioski pozostają zgodne zarówno z problemem naukowym, jak i z celami szczegółowymi zaplanowanymi dla P1–P5.

W recenzowanej rozprawie doktorskiej osiągnięcie naukowe zostało udokumentowane w sposób logiczny, w oparciu o pięć publikacji składających się na cykl (P1–P5). Poszczególne artykuły **obejmują komplementarne obszary problemowe** odpowiadające głównej osi pracy, w tym:

- analizę przebiegu procesu ekstruzji, w tym wydajności (Q) oraz energochłonności wyrażonej wskaźnikiem SME,
- charakterystykę właściwości fizykochemicznych i funkcjonalnych otrzymanych ekstrudatów,
- ujęcie środowiskowo-energetyczne, obejmujące zagospodarowanie frakcji poprodukcyjnych w procesie fermentacji beztlenowej i ocenę potencjału biogazowego.

P1 (International Agrophysics, 2023) stanowi publikację otwierającą cykl, w której uzasadniono wprowadzanie wytłoków do receptur ekstrudowanych pelletów i przekąsek jako dodatków funkcjonalnych. Praca koncentruje się na wpływie dodatku wytłoków jabłkowych (*Malus domestica* „Gala") na przebieg procesu ekstruzji (w tym energochłonność i wydajność) oraz na potencjał antyoksydacyjny otrzymanych produktów (pelletów i przekąsek ekspandowanych). Autorzy wykazują spójną zależność: **dodatek wytłoków obniża zużycie energii procesu przy jedynie nieznacznym spadku wydajności, natomiast korzystny efekt prozdrowotny znajduje odzwierciedlenie we wzroście zawartości związków fenolowych oraz towarzyszącym mu wzroście aktywności antyoksydacyjnej**. Z perspektywy dysertacji jest to istotne, gdyż stanowi naukowe uzasadnienie tezy, że uboczne produkty rolno-spożywcze mogą jednocześnie poprawiać cechy funkcjonalne produktu oraz pozostawać przydatne do przetwarzania w procesie ekstruzji. Ograniczeniem pracy, w kontekście zagadnień możliwych do uzupełnienia w dysertacji, jest słabsza ekspozycja aspektów jakości konsumenckiej i sensorycznej oraz stabilności przechowalniczej. Nie podważa to jednak roli omawianej publikacji jako podstawy dla kolejnych, procesowo ukierunkowanych prac.

P2 (Processes, 2025) poszerza zasadniczą część technologiczno-procesową rozprawy o istotny aspekt, tj. porównanie dwóch konfiguracji układu plastyfikującego (L/D 16 i L/D 20) w ekstruzji jednoślimakowej oraz ocenę wpływu przyjętej konfiguracji na efekty stosowania wytłoków oleistych (z czarnuszki i lnu) jako dodatków surowcowych. W artykule precyzyjnie określono cel, obejmujący ocenę wydajności, energochłonności oraz wybranych właściwości fizycznych ekstrudatów, a także analizę interakcji pomiędzy składem mieszanek a parametrami procesu. Przedstawiono również wartości liczbowe o znaczeniu praktycznym, m.in. maksymalną wydajność 23,16 kg/h przy 20% wytłoków czarnuszki w układzie L/D 16 oraz zakres SME 0,006–0,105 kWh/kg. Publikacja niniejsza w sposób konsekwentny uzupełnia część metodyczną dysertacji, stanowiąc przejście od uzasadnienia stosowania wytłoków (P1) do analizy prowadzenia procesu oraz wpływu konfiguracji ekstrudera na uzyskiwane parametry. Jej **zakres koncentruje się na ocenie parametrów procesowo-fizycznych (Q, SME, BD, WAI, WSI) w zależności od konfiguracji układu plastyfikującego i składu mieszanek**, co pozostaje w pełni zgodne z celem publikacji i logiką całego cyklu.

P3 (Journal of Ecological Engineering, 2025) rozwija aspekt gospodarki bezodpadowej wskazując możliwości zagospodarowania świeżych wytłoków owocowo-warzywnych (jabłko, aronia, dynia) w recepturach pelletów przekąskowych, a także ponownie

uwzględnia porównanie dwóch konfiguracji L/D (16 i 20). **Publikacja ma istotne znaczenie merytoryczne, gdyż wykazuje, że projektowanie produktu jest determinowane nie tylko rodzajem dodatku**, lecz również doborem konfiguracji układu plastyfikującego: uzyskano najwyższą wydajność 24,0 kg/h dla 20% wytłoków jabłkowych przy L/D 20, natomiast energochłonność procesu w analizowanym zakresie osiągała wartości do 0,189 kWh/kg. Jednocześnie praca w sposób czytelny różnicuje wpływ dodatków na cechy materiałowe. Przykładowo, przy 30% dodatku aronii (L/D 20) uzyskano wysokie wartości WAI i WSI oraz wysoką gęstość nasypową, co można interpretować jako efekt istotnego udziału frakcji błonnikowo-fenolowej w kształtowaniu struktury oraz właściwości reologicznych stopu skrobiowego. W dysertacji P3 pełni funkcję łącznika pomiędzy inżynierią procesu a ujęciem środowiskowym odnoszącym się do zagospodarowania strumieni ubocznych i ograniczenia strat surowca – przy zachowaniu jednoznacznych wskaźników technologicznych.

P4 (Applied Sciences, 2024) ma charakter syntetyzujący w obrębie technologii ekstruzji. W ramach jednej receptury, bazującej na skrobi ziemniaczanej, zastosowano pięć typów wytłoków (jabłko, aronia, dynia, czarnuszka, len) w dawkach 10/20/30% i zbadano ich wpływ na wydajność, zużycie energii oraz fizyczne cechy jakościowe pelletów, w tym wskaźnik ekspandowania, gęstość nasypową i trwałość. **Istotnym rezultatem P4, z perspektywy recenzowanej rozprawy, jest wniosek projektowy wskazujący, że udział 10–20% może stanowić zakres preferowany.** Wynika to z faktu, iż zakres ten sprzyja stabilizacji procesu oraz poprawie wybranych cech jakościowych produktów. Jednocześnie pozwala on uniknąć trudności technologicznych charakterystycznych dla wysokiego udziału dodatków surowcowych (powyżej analizowanego optimum), takich jak m.in. utrudniony transport materiału, wahania ciśnienia czy pogorszenie jakości struktury. Analizowana publikacja porządkuje wyniki, zestawiając różne wytłoki w jednolitym układzie porównawczym.

P5 (Energies, 2024) pełni w cyklu publikacji funkcję pracy integrującej ujęcie technologiczne z aspektami energetycznymi oraz zagospodarowaniem strumieni poprodukcyjnych. Obejmuje nie tylko proces ekstruzji i właściwości pelletów, lecz także ocenę potencjału biogazowego odpadu poprodukcyjnego (produkty niespełniające wymagań jakościowych, powstające w fazie stabilizacji procesu). W pracy przedstawiono ocenę wydajności procesu ekstruzji oraz jednostkowego zużycia energii mechanicznej, a także wyniki fermentacji metanowej prowadzonej w warunkach mezofilowych, wyrażone m.in. udziałem metanu w biogazie (%CH_4) oraz skumulowaną produkcją biogazu i metanu w przeliczeniu na świeżą masę, suchą masę i suchą masę organiczną (CBP/CMP). W części omawiającej uzyskane wyniki zaprezentowano m.in. najwyższą wydajność ekstruzji 18,20 kg/h dla 30% wytłoków lnianych oraz SME 0,015–0,072 kWh/kg. Z kolei w odniesieniu do fermentacji wskazano wysoki potencjał mieszanek z wytłokami czarnuszki (kumulacyjnie 337,04 m^3/Mg świeżej masy dla 30%). **Publikacja P5 przedstawia spójny schemat domknięcia obiegu materiałowo-energetycznego, obejmujący przejście od surowca ubocznego, poprzez produkt spożywczy i odpady procesu, do odzysku energii w procesie fermentacji beztlenowej.**

Podsumowując omówione publikacje (P1–P5), należy podkreślić ich spójność tematyczną i komplementarność. W strukturze osiągnięcia naukowego **szczególnie istotną rolę pełnią prace P4 i P5**. Publikacja P4 porządkuje oraz uogólnia wyniki w ujęciu porównawczym, obejmując pięć typów wytłoków. Z kolei P5 stanowi syntetyczne ujęcie wątku środowiskowo-energetycznego, łącząc analizę procesu ekstruzji z oceną potencjału biogazowego frakcji poprodukcyjnych. Artykuł P1 pełni niejako funkcję fundamentu – dostarcza przekonującego uzasadnienia naukowego dla włączania wytłoków do składu recepturowego mieszanek oraz wskazuje jednoczesny efekt technologiczny i funkcjonalny. Z kolei P2 i P3 mają charakter

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań
tel. +48 61 848 77 26
e-mail: kiwis@up.poznan.pl

uzupełniająco-pogłębiający – rozwijają rdzeń inżynierii procesu poprzez analizę wpływu konfiguracji układu plastyfikującego oraz warunków prowadzenia ekstruzji na parametry technologiczne i wybrane cechy fizyczne pelletów. W mojej opinii **poziom merytoryczny cyklu jest wysoki**, a zastosowany warsztat badawczy (dobór zmiennych, metody pomiarowe i analizy statystyczne) stanowi podstawę do sformułowania wniosków nie tylko opisowych, lecz także projektowych i potencjalnie wdrożeniowych. Na podkreślenie zasługuje również **element nowości dysertacji, polegający na całościowym, systemowym ujęciu zagadnienia.** W jednolitym układzie badawczym zestawiono różne typy wytłoków oraz warianty konfiguracji układu plastyfikującego, a następnie powiązano wyniki technologiczne i jakościowe produktów z oceną możliwości energetycznego zagospodarowania frakcji poprodukcyjnych w procesie fermentacji beztlenowej, zgodnie z podejściem gospodarki o obiegu zamkniętym (6R). **Za szczególnie wartościowe uważam fakt, iż Autor nie ogranicza się do wykazania jedynie możliwości zagospodarowania produktów ubocznych,** lecz proponuje konkretne, policzalne kryteria prowadzenia procesu (Q, SME oraz parametry jakościowe) i wskazuje realną ścieżkę domknięcia obiegu materiałowo-energetycznego. W konsekwencji przedstawione publikacje tworzą osiągnięcie naukowe, stanowiące istotny wkład w rozwój technologii ekstruzji z udziałem surowców ubocznych oraz w praktyczne podejście do zagadnień gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze rolno-spożywczym.

Na podstawie wnikliwej analizy przedłożonego do oceny materiału sformułowano następujące pytania:

1. **W jaki sposób kontrolowano** i weryfikowano rzeczywistą wilgotność mieszanek (przed ekstruzją oraz po kondycjonowaniu) przy rosnącym udziale wytłoków (10–30%), aby zapewnić porównywalność wyników wydajności procesu (Q), jednostkowego zużycia energii mechanicznej (SME) oraz właściwości fizykochemicznych?

2. **W jaki sposób**, w interpretacji wyników, rozdzielono wpływ rodzaju wytłoków (m.in. zawartość błonnika, frakcji tłuszczowej, polifenoli i pektyn) od wpływu samego udziału procentowego dodatku, zwłaszcza przy występowaniu istotnych interakcji pomiędzy zmiennymi?

3. **W jakim stopniu**, w ocenie hipotezy H2, uwzględniono fakt, że konfiguracje L/D = 16 i L/D = 20 mogą różnić się nie tylko długością układu plastyfikującego, lecz także efektywnym czasem przebywania materiału, profilem temperatury oraz intensywnością ścinania; oraz czy parametry te były mierzone lub szacowane?

4. **Jakie były kryteria doboru** prędkości obrotowej ślimaka w poszczególnych publikacjach (w tym różnice zakresów w cyklu P1–P5) oraz czy zmienność ta nie ogranicza możliwości bezpośredniego porównywania trendów w całym cyklu badań?

5. **W jaki sposób zapewniono** porównywalność wyników cech jakościowych (BD, WAI, WSI, durability, wskaźnik ekspandowania) pomiędzy seriami, jeżeli w cyklu prac występowały różnice w typie matrycy i/lub systemie cięcia, a także w warunkach suszenia?

6. **Czy oceniano powtarzalność** oraz niepewność pomiarów właściwości fizycznych pelletów (np. BD, WAI/WSI, durability) w układzie powtórzeń technologicznych, tak aby

jednoznacznie rozstrzygnąć, czy obserwowane różnice wynikają ze zmiennych procesu, a nie ze zmienności partii materiału?

7. **Na jakiej podstawie uznano**, że poziom 30% dodatku stanowi granicę technologiczną: czy obserwowano zjawiska ograniczające stabilność procesu (np. niestabilność przepływu, zatykanie matrycy), a jeżeli tak – czy były one dokumentowane w sposób ilościowy?

Proszę, aby Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej w trakcie obrony ustosunkował się do poniższych pytań. **Udzielenie odpowiedzi pozwoli na doprecyzowanie wybranych aspektów metodycznych oraz interpretacyjnych przedstawionej pracy.**

Jako recenzent zobligowana jestem również **do wskazania pojawiających się w treści dysertacji błędów i niespójności**, które – jak podkreślono wcześniej – nie mają istotnego wpływu na wartość merytoryczną rozprawy.

1. Literówka w opisie wyposażenia: „zewnętrzy system cięcia" (powinno być „zewnętrzny"). s. 23
2. Błąd w jednostce w definicjach do SME: „Q – wydajność procesu ekstruzji [Q]" zamiast jednostki (np. kg/h). s. 25
3. Błędy językowe w opisie metod (WAI/WSI/FRAP): o „co zapełniło jednolite nawodnienie cząstek" (najpewniej „zapewniło"), o „średnią z trzech pomiarów wyrażony" (powinno być „wyrażoną"). s. 29
4. Błąd zgody w zdaniu: „Produkcja i skład (...) był stale monitorowany" (powinno być „były monitorowane"/„monitorowano"). s. 30
5. Błędy w metodyce fermentacji (język + zapis normy): o „badanie zostało przeprowadzone zgodzie z normą..." (brak „w"), o zapis normy jako „DIN 38 414/S8" (niespójny format). s. 31
6. Pomyłka definicji skrótów (CBP/CMP) – zamiana biogazu z metanem: „CBPFM = Cumulative Methane Production", a „CMPFM = Cumulative Biogas Production" (powinno być odwrotnie). s. 31
7. Niespójność liczby powtórzeń w metodyce fermentacji: „średnia z dwóch powtórzeń" (dla %CH_4). s. 31
8. Błędy i niekonsekwencje w części statystycznej: „Statstica 13.0" (literówka), o „istotności różnić" zamiast „różnic", różne wersje programu: Statistica 13.0 oraz PCA w Statistica 12.0 (wymaga ujednolicenia lub uzasadnienia). s. 32
9. Literówka w omówieniu: „mieszący się" (powinno być „mieszczący się"). s. 36
10. Błąd w cytowaniu (brak domknięcia nawiasu/kwadratu): „Lisiecka i in. [2021 podczas ...". s. 37
11. Literówka: „a jednoczenie pozwoliły..." (powinno być „jednocześnie"). s. 37
12. Błąd zgody: „prędkości obrotowej ślimaka wynoszący 40, 60 i 80 obr/min" (powinno być „wynoszącej"). s. 40
13. Niespójność terminologiczna wody (absorbcji/absorpcji): występują różne formy („absorbcji" vs „absorpcji"), w tym w spisie treści. „absorbcji": s. 4, 29, 42, 52, 53; „absorpcji": s. 26, 45
14. Niespójność z metodyką fermentacji z części autorskiej: w kopii artykułu pojawia się informacja o trzech powtórzeniach/n=3, co koliduje z wyrażeniem „dwóch powtórzeń" w rozdziale metodycznym. s. 160 (wzmianka o replikach i DIN), s. 161–165, 167 (wystąpienia „n=3")

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań
tel. +48 61 848 77 26
e-mail: kiwis@up.poznan.pl

5. Ocena końcowa

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Jakuba Soi pt. „Możliwości zagospodarowania wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego z wykorzystaniem techniki ekstruzji" przedstawia spójne, interdyscyplinarne i aplikacyjnie ukierunkowane ujęcie zagadnienia wpisującego się w zasady 6R oraz gospodarki o obiegu zamkniętym. Na podkreślenie zasługuje konsekwentna integracja wątku technologicznego (ekstruzja i jakość/parametry produktów) z ujęciem środowiskowo-energetycznym.

Rozprawa została przygotowana w formule cyklu pięciu publikacji, które tworzą komplementarne osiągnięcie naukowe. Doktorant wykazał się dojrzałością metodologiczną, umiejętnością projektowania badań wieloczynnikowych oraz właściwym doborem narzędzi analizy danych, co pozwoliło sformułować wnioski o charakterze nie tylko opisowym, lecz również projektowym. Szczególnie wartościowe jest wykazanie, że uboczne produkty rolno-spożywcze mogą pełnić rolę funkcjonalnych dodatków w recepturach ekstrudowanych, a jednocześnie – w strumieniu poprodukcyjnym – stanowić przewidywalny substrat dla odzysku energii w postaci biogazu. Odnotowane uchybienia oraz wybrane niespójności metodyczne mają w większości charakter redakcyjny i nie podważają zasadniczej wartości merytorycznej uzyskanych rezultatów.

Biorąc pod uwagę walory naukowe, metodyczne i aplikacyjne przedłożonej rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że praca spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.) i może stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Wnioskuję o dopuszczenie mgra inż. Jakuba Soi do publicznej obrony rozprawy doktorskiej przed Radą Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Poznań, 12 grudnia 2025 r.

Agnieszka Pilarska

prof. UPP dr hab. inż. Agnieszka Pilarska